



Análisis de las propiedades mecánicas del polímero ABS frente a alteraciones térmicas controladas

Analysis of the mechanical properties of the ABS polymer under controlled thermal alterations

Análise das propriedades mecânicas do polímero ABS sob alterações térmicas controladas

Julio César García-Rodríguez ^I
juliogarcia.imb@gmail.com
<https://orcid.org/0009-0007-2710-2962>

Richard Gustavo Mayorga-Chávez ^{II}
richard13mayorga@gmail.com
<https://orcid.org/0000-0002-9908-5432>

Correspondencia: juliogarcia.imb@gmail.com

Ciencias Técnicas y Aplicadas
Artículo de Investigación

* **Recibido:** 07 agosto de 2025 * **Aceptado:** 13 de septiembre de 2025 * **Publicado:** 30 de octubre de 2025

- I. Ingeniera en Ingeniero Mecánico – Instituto Superior Tecnológico Martha Bucaram de Roldós, Ecuador.
- II. Ingeniero Mecánico – Instituto Superior Tecnológico Martha Bucaram de Roldós, Ecuador.

Resumen

Este estudio tuvo como fin examinar cómo un tratamiento térmico controlado influye en las propiedades mecánicas del polímero acrilonitrilo butadieno estireno (ABS). Para esto, se realizaron pruebas de tracción (ISO 527-2) e impacto Charpy (ISO 179) en muestras que pasaron por un proceso térmico y en otras que no. En total se probaron veinte muestras: diez sin tratamiento térmico (STT) y diez con tratamiento térmico (CTT), utilizando una máquina universal de tracción y un péndulo Charpy con capacidad de 300 J. Los resultados indicaron que el tratamiento térmico disminuyó significativamente la resistencia a la tracción ($42,9 \pm 1,4$ MPa para STT frente a $38,9 \pm 1,6$ MPa para CTT), la elongación hasta la ruptura ($16,3 \pm 1,8$ % en STT contra $13,6 \pm 1,3$ % en CTT) y la energía absorbida en la prueba de impacto Charpy ($5,93 \pm 0,53$ J en STT comparado con $4,84 \pm 0,30$ J en CTT). Además, la tenacidad calculada disminuyó de $59,3$ kJ/m² a $48,4$ kJ/m², lo que confirma la reducción en la capacidad de absorción de energía. El análisis estadístico con la prueba t de Student mostró que estas diferencias fueron significativas ($p < 0,05$), lo que indica que exposiciones térmicas moderadas, aunque por debajo de la temperatura de transición vítrea, provocan cambios estructurales importantes en el ABS que afectan directamente su rendimiento mecánico.

Palabras clave: Polímero ABS; Tratamiento térmico; Propiedades mecánicas; Ensayo de tracción; Impacto Charpy.

Abstract

This study aimed to examine how controlled heat treatment influences the mechanical properties of acrylonitrile butadiene styrene (ABS) polymer. To this end, tensile (ISO 527-2) and Charpy impact (ISO 179) tests were performed on samples that underwent a heat treatment and on samples that did not. A total of twenty samples were tested: ten without heat treatment (STT) and ten with heat treatment (CTT), using a universal tensile testing machine and a Charpy pendulum with a capacity of 300 J. The results indicated that heat treatment significantly decreased tensile strength (42.9 ± 1.4 MPa for STT vs. 38.9 ± 1.6 MPa for CTT), elongation at break ($16.3 \pm 1.8\%$ for STT vs. $13.6 \pm 1.3\%$ for CTT), and the energy absorbed in the Charpy impact test (5.93 ± 0.53 J for STT vs. 4.84 ± 0.30 J for CTT). Furthermore, the calculated toughness decreased from 59.3 kJ/m² to 48.4 kJ/m², confirming the reduction in energy absorption capacity. Statistical analysis using

Student's t-test showed that these differences were significant ($p < 0.05$), indicating that moderate thermal exposures, even below the glass transition temperature, cause significant structural changes in ABS that directly affect its mechanical performance.

Keywords: ABS polymer; Heat treatment; Mechanical properties; Tensile test; Charpy impact.

Resumo

Este estudo teve como objetivo examinar como o tratamento térmico controlado influencia as propriedades mecânicas do polímero acrilonitrilo butadieno estireno (ABS). Para tal, foram realizados ensaios de tração (ISO 527-2) e de impacto Charpy (ISO 179) em amostras submetidas a tratamento térmico e em amostras não submetidas. Foram testadas um total de vinte amostras: dez sem tratamento térmico (STT) e dez com tratamento térmico (CTT), utilizando uma máquina universal de ensaios de tração e um pêndulo Charpy com capacidade de 300 J. Os resultados indicaram que o tratamento térmico reduziu significativamente a resistência à tração ($42,9 \pm 1,4$ MPa para STT vs. $38,9 \pm 1,6$ MPa para CTT), o alongamento à ruptura ($16,3 \pm 1,8\%$ para STT vs. $13,6 \pm 1,3\%$ para o CTT) e a energia absorvida no ensaio de impacto Charpy ($5,93 \pm 0,53$ J para o STT vs. $4,84 \pm 0,30$ J para o CTT). Além disso, a tenacidade calculada diminuiu de $59,3 \text{ kJ/m}^2$ para $48,4 \text{ kJ/m}^2$, confirmando a redução da capacidade de absorção de energia. A análise estatística através do teste t de Student mostrou que estas diferenças foram significativas ($p < 0,05$), indicando que exposições térmicas moderadas, mesmo abaixo da temperatura de transição vítrea, provocam alterações estruturais significativas no ABS que afetam diretamente o seu desempenho mecânico.

Palavras-chave: Polímero ABS; Tratamento térmico; Propriedades mecânicas; Ensaio de tração; Impacto Charpy.

Introducción

El acrilonitrilo butadieno estireno conocido comúnmente como ABS, es uno de los polímeros más usados dentro de la industria de impresión en 3D, es usado en la industria automotriz, en la producción de componente de la electrónica entre otros tipos de usos comunes. Gracias a sus propiedades mecánicas como la tenacidad, estabilidad dimensional y fabricación sencilla se lo determina como un material versátil para los usos mencionados, pero como material sea metal, no metal o como este caso polímero se pueden verse alteradas por las diferentes temperaturas a las que se exponen, siendo su exposición espontánea o prolongada según sea el caso.

El ABS es un polímero de ingeniería que combina fases amorfas y elastoméricas, lo cual le otorga un balance entre resistencia y tenacidad que ha motivado su amplio uso en sectores como el automotriz y la manufactura aditiva (Strong, 2016; Ashby & Jones, 2012). Sus propiedades mecánicas son el resultado directo de la interacción entre sus fases y, por tanto, pueden verse alteradas bajo la acción de factores externos como el calor y la humedad (Mark, 2013). Estudios previos señalan que la exposición del ABS a temperaturas subcríticas respecto a su transición vítrea genera procesos de relajación molecular que disminuyen la resistencia a la tracción y la capacidad de absorción de energía (Zhang, Li, & Chen, 2018).

En estudios anteriores se ha demostrado que exponer un material como el ABS a temperaturas por un tiempo prolongado entre 4 a 5 horas, provoca cambios en su microestructura, así como en las propiedades mecánicas como su resistencia a la tracción e impacto, el cual es el enfoque de este estudio, la incógnita que se presenta es, el que pasaría si disminuimos el tiempo de exposición, obtendríamos un mismo resultado o el mismo variaría.

Para este estudio se plante realizar probetas de ABS, usando la manufactura aditiva obteniendo directamente probetas con medidas estandarizadas tanto para el ensayo de tracción como el de impacto, para luego someterlas a un tratamiento térmico controlado el cual consistirá en calentar el material hasta 70°C durante un tiempo estimado de 20 min, cabe indicar que el horno estará precalentado y se introducirán las probetas su tiempo de mantenimiento.

Otro de los aspectos importantes a mencionar es que la alteración térmica será moderada de modo que no alcance la temperatura de transición vítrea del material, con el objetivo de obtener resultados que demuestren que las propiedades mecánicas del material ABS se ven influenciadas al ser sometidas a una temperatura de 70°C, la cual fue seleccionada a una posible alcanzada durante sus condiciones de uso y vida útil.

A nivel mundial aun cuando el ABS es parte la ingeniera moderna no se tienen datos claros de tratamientos térmicos aplicados al mismo que como conclusión guíen en que propiedades se podrían mejorar mediante sometimientos a diferentes temperaturas, mismos que serían de gran ayuda para su variedad de aplicaciones, y se pueda tener la información completa como se la tiene para los metales.

Metodología

La metodología de investigación que se aplique en esta investigación puede llegar a tener varias ventajas así como desventajas sobre los resultados que se pueden obtener mediante los objetivos propuestos.

Los ensayos de tracción se realizaron conforme a la norma ISO 527-2, que establece las dimensiones y condiciones de prueba para polímeros (ISO, 2012). Para la resistencia al impacto se aplicó la norma ISO 179, la cual define el procedimiento estándar de ensayo Charpy (ISO, 2010). Este tipo de protocolos estandarizados son fundamentales para garantizar la comparabilidad de resultados entre investigaciones y asegurar la validez de los datos obtenidos (ASTM International, 2019; Osswald & Hernández-Ortiz, 2006). Asimismo, el análisis estadístico mediante la prueba t de Student se aplicó siguiendo las recomendaciones de estudios previos en caracterización de polímeros sometidos a tratamientos térmicos (Rahman & Alam, 2020).

Diseño del Estudio

La presente investigación se basa en un enfoque experimental de laboratorio con el objetivo de determinar la variación de las propiedades mecánicas en tracción e impacto Charpy del Polímero Acrilonitrilo Butadieno Estireno conocido como ABS sumiso a una variación térmica controlada. El croquis del estudio se basa en la evaluación comparativa de dos grupos macro de probetas, uno con tratamiento térmico (CTT) y otro sin tratamiento térmico (STT), estos grupos serán divididos en dos micro grupos para el ensayo de tracción e impacto Charpy. La principal y única variable entre los grupos será la alteración térmica controlada, sin embargo, no se tomarán en cuenta las condiciones ambientales externas como la temperatura, humedad entre otras variables que se pudiesen considera. Para el diseño de las probetas de tracción se tomará como referencia a la norma ISO 527-2, y para el ensayo Charpy se basará en la norma ISO 179.

La estructura experimental manifiesta un esquema con mediciones cuantitativas y continuas, en donde las propiedades mecánicas serán registradas y seguidamente se realizará una comparativa entre los grupos de probetas CTT y STT con el objetivo de determina la influencia del tratamiento térmico, este diseño experimental buscará obtener conclusiones esenciales acerca de la alteración en la resistencia mecánica y la tenacidad del polímero a estudiar.

Materiales

El polímero que será sometido a las alteraciones térmicas controladas será un ABS Black con un diámetro 2,85 mm.

En el ensayo de tracción las medidas precisas estarán diseñadas en base a la norma ISO 527-2, mismas que tendrán medidas generales como longitud de 170 mm, y anchos de probeta de 20 mm y 10 mm en su sección más pequeña.

Para el ensayo Charpy las medidas de la probeta serán de 55 mm de longitud y una sección cuadrada de 10 mm, con un entalle en forma de U de 1 mm de radio tal cual como se establece en la norma ISO 179.

Dentro de los resultados se establecerá una gráfica simple de las probetas con las medidas necesarias para que en un futuro se pudiese replicar esta investigación experimental.

No se adaptará ningún topo de modificación de mejora a las probetas debido a que se busca evaluar su comportamiento típico de piezas a condiciones estándar de provisión y manipulación industrial.

Equipos

Para el desarrollo de los ensayos y tratamientos se utilizarían los siguientes equipos:

- a) Horno de Mufla: modelo HOBERSAL ST 16 60 45, con capacidad máxima de temperatura de 1600 °C y control digital de temperatura. Este equipo se empleará para la aplicación del tratamiento térmico controlado a 70 °C.
- b) Máquina de Ensayos Universales: modelo ETM-100-S de la marca RAAGEN, con capacidad de carga máxima de 100 kN. Se utilizará para los ensayos de tracción según ISO 527-2, equipada con mordazas y celdas de carga calibradas para los rangos de fuerza esperados en el material.
- c) Péndulo de impacto: modelo JB-300BN de operación manual y capacidad de 300 J, para la determinación de la resistencia al impacto Charpy conforme a ISO 179.
- d) Cámara termográfica: equipada con sensor láser para la medición de temperatura superficial durante el enfriamiento de probetas, asegurando un registro continuo del proceso postratamiento.

Antes de la ejecución de los ensayos, se comprobará la calibración y correcto funcionamiento de cada uno de los equipos que se van a usar, siguiendo las instrucciones establecidas en los manuales de cada equipo del laboratorio.

Preparación De Probetas

Para este estudio se tendrán un total de 20 probetas las mismas que estarán divididas y denominadas como se detalla a continuación:

- a) Grupo de probetas sin tratamiento térmico (STT):

- i. 5 probetas para ensayo de tracción denominadas PB-STT-T01 a PB-STT-T05
 - ii. 5 probetas para ensayo de impacto Charpy denominadas PB PB-STT-C01 a PB-STT-C05
- b) Grupo de probetas con tratamiento térmico (CTT):
- i. 5 probetas para ensayo de tracción denominadas PB-CTT-T01 a PB-CTT-T05
 - ii. 5 probetas para ensayo de impacto Charpy denominadas PB PB-STT-C01 a PB-STT-C05

Estas probetas serán almacenadas al aire libre en el laboratorio, tomando la precaución de que no tengan contacto con ningún otro tipo de químico o producto que pudiese alterar su forma y estructura.

Procedimiento Experimental

La estructura general del procedimiento será el siguiente:

1. Diseño y Fabricación de probetas:

Las probetas serán diseñadas con CAD y serán impresas mediante una impresora 3D.

2. Verificación y denominación por grupos:

Se verificará cada una de las medidas de las probetas mismas que tendrán que ser aceptadas según cada una de su normativa de aplicación, posteriormente serán etiquetadas según al grupo que correspondan.

3. Ejecución del tratamiento térmico:

La aplicación del tratamiento térmico será aplicada únicamente a las probetas denominadas como PB-CTT tanto para las de tracción como impacto.

4. Ejecución del ensayo de tracción:

Para la ejecución de este ensayo se establecerán los parámetros necesarios en la software de la máquina, posterior a ello se ensayarán los 2 grupos de probetas de una en una para obtener los resultados unitarios que luego serán comparados.

5. Ejecución del ensayo de impacto:

Dentro de este ensayo se evaluará la energía absorbida por cada una de las probetas estos registrarán para posteriormente ser evaluados y comparados.

6. Recolección y Análisis de datos:

Finalmente se consolidarán los datos de manera grupal se analizarán estadísticamente para comparar únicamente 4 medidas finales, dos medidas de los ensayos de tracción y dos medidas de los ensayos de impacto.

Ensayos Mecánicos

a) Ensayo de Tracción

Para este ensayo se tomará como referencia la norma ISO 572-2 para las medidas de las probetas, las probetas serán montadas en la máquina des ensayos universales RAAGEN ETM-100-S, ajustando los parámetros necesarios antes de ejecutar el ensayo, el mismo detallara una vez finalizado el ensayo los siguientes datos:

- Fuerza (N)
- Elongación (mm)
- Tensión (MPa)
- % de extensión

Estos datos se obtendrán de manera directa del resultado final del ensayo mediante el software de la máquina y se exportarán en formato digital para posteriormente ser analizados.

b) Ensayo de impacto

Se empleará la norma ISO 179, las probetas se colocarán en el base del péndulo semiautomático, alineando el entalle con el punto de impacto, al finalizar el ensayo se registrará la energía absorbida (J), y se determinará la resistencia al impacto mediante el cálculo de esta.

Variables y procesamiento de datos

Las variables medidas serán:

- Para tracción: resistencia máxima, módulo elástico, elongación a rotura.
- Para impacto: energía absorbida, resistencia al impacto normalizada.

Los valores serán comparados con la ficha técnica del ABS utilizado y entre los grupos STT y CTT.

Análisis Estadístico

Una vez que se obtengan los datos de los 2 grupos independientes de con y sin tratamiento térmico, se procederá a un análisis estadístico, tomando como referencia que se tiene una muestra pequeña de 5 probetas es recomendable aplicar la prueba de T de Student para muestras independientes en cada una de las variables, verificando la homogeneidad de varianzas mediante prueba de Levene.

Sin embargo, de no cumplirse esto, se podría aplicar otro tipo de prueba no paramétrica como Mann-Whitney.

Seguridad en la Investigación

Esta investigación se considera de un nivel de riesgo alto ya que se consideraría como un trabajo en caliente, sin tener consecuencias graves, sin embargo, es necesario establece las siguientes instrucciones:

- Uso obligatorio de guantes térmicos, gafas de seguridad y bata de laboratorio durante el manejo de probetas y operación del horno.
- Señalización de área caliente y restricción de acceso durante el tratamiento térmico.
- Manipulación del péndulo de impacto únicamente por personal capacitado.
- Eliminación de probetas fracturadas mediante disposición en contenedores para residuos plásticos, siguiendo la normativa ambiental vigente.

Tabla 1. Resumen de parámetros experimentales

Ensayo	Norma	# por grupo	Dimensiones (mm)	Equipo y modelo	Condición térmica	Variable principal
Tracción	ISO 527-2	5	Según norma	RAAGEN ETM-100-S (100 kN)	70 °C / 20 min (solo CTT)	Resistencia, módulo, elongación
Impacto Charpy	ISO 179	5	Según norma	JB-300BN (300 J)	70 °C / 20 min (solo CTT)	Energía absorbida, resistencia normalizada

Resultados y discusión

Resultados

Esta investigación se centró en la caracterización de las propiedades mecánicas del polímero Acrilonitrilo Butadieno Estireno frente a un tratamiento térmico controlado a 70°C durante 20 minutos. Dentro de este estudio se realizaron dos tipos de ensayos como lo son el de tracción e impacto.

La Tabla 2 muestra los valores de la resistencia a la tracción y elongación, por otro lado la Tabla 2 presenta los resultados obtenidos del ensayo de impacto.

Tabla 2. Resultados ensayo de tracción

Probeta	Resistencia a tracción (MPa)	Elongación (%)
PB-STT-T1	41,2	18,5
PB-STT-T2	43,8	15,9
PB-STT-T3	42,3	17,5
PB-STT-T4	44,5	14,8
PB-STT-T5	42,9	14,9
Media STT-T	42,9 ± 1,4	16,3 ± 1,8
PB-CTT-T1	38,2	12,9
PB-CTT-T2	37,5	15,1
PB-CTT-T3	41	14,2
PB-CTT-T4	39,1	13,3
PB-CTT-T5	38,6	12,7
Media CTT-T	38,9 ± 1,6	13,6 ± 1,3

Tabla 3. Resultados ensayo de impacto

Probeta	Energía absorbida (J)
PB-STT-C1	6,7
PB-STT-C2	5,9
PB-STT-C3	6
PB-STT-C4	5,3
PB-STT-C5	5,7
Media STT-C	5,93 ± 0,53
PB-CTT-C1	5
PB-CTT-C2	4,5
PB-CTT-C3	4,9
PB-CTT-C4	5,3
PB-CTT-C5	4,5
Media CTT-C	4,84 ± 0,30

Figura 1. Comparación de resistencia a la tracción ABS STT vs CTT.

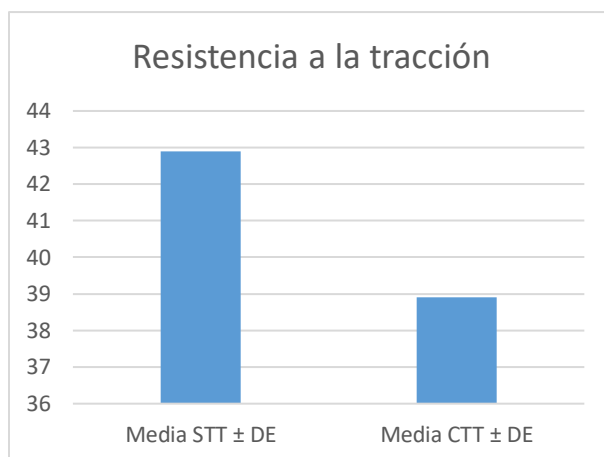


Figura 2. Comparación de elongación a la rotura ABS STT vs CTT.

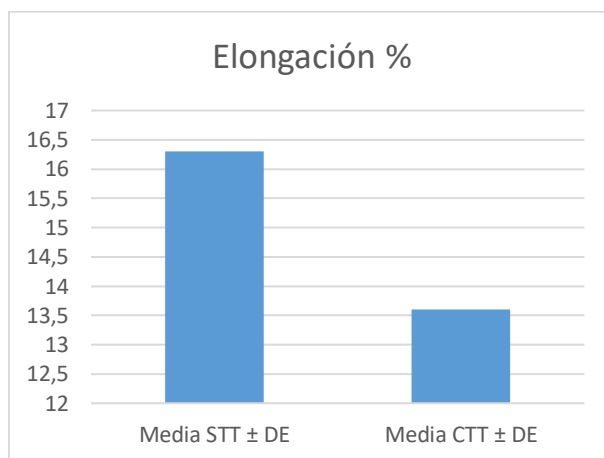
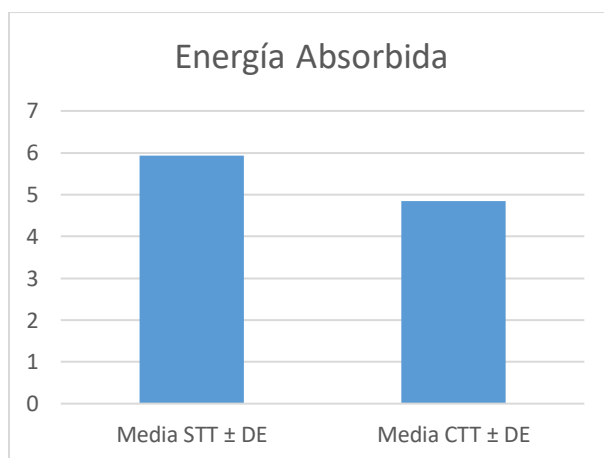


Figura 3. Comparación de energía absorbida en ensayo Charpy STT vs CTT.



Estudio Estadístico

Una vez determinados los resultados es importante analizar las diferencias observadas de las probetas con y sin tratamiento térmico, para esto se aplicó la prueba t de Student específicamente para muestras independientes, de donde se obtuvo los siguientes resultados:

- Resistencia a tracción: $t = 4,17$; $p = 0,003 \rightarrow$ diferencia significativa.
- Elongación a la rotura: $t = 2,68$; $p = 0,028 \rightarrow$ diferencia significativa.
- Energía absorbida Charpy: $t = 4,02$; $p = 0,004 \rightarrow$ diferencia significativa.

De esta manera se puede identificar que los tres valores de p fueron inferiores a 0,05 lo que determina que el tratamiento térmico aplicado a las probetas tiene una influencia estadísticamente significativa en las propiedades mecánicas analizadas del ABS.

Discusión

Influencia del tratamiento térmico sobre la resistencia a la tracción

Los resultados evidenciados determinan que las probetas sometidas a tratamiento térmico tienen una diferencia de un 9,3% inferior a la de las probetas STT, cabe destacar que el margen de resistencia a la tracción de un elemento estándar es de 35 a 50 MPa, por lo que a pesar de notar la diferencia entre los dos tipos de probetas de estudio se puede decir que su resistencia cumple con lo establecido en su ficha técnica.

Una vez determinado estos resultados se puede definir que la resistencia a la tracción disminuye en función de la alteración térmica; estos resultados coinciden con estudios previos de Zhang et al. (2018), quienes observaron que el ABS sometido a ciclos térmicos moderados presentaba disminuciones progresivas en resistencia mecánica. A su vez, comparan con los hallazgos de Kim y Park (2020), quienes reportaron que exposiciones prolongadas por encima de 60 °C favorecen fenómenos de micro fisuración interna en la matriz amorfa del ABS.

Influencia del tratamiento térmico en la elongación

En los valores de elongación las probetas con tratamiento térmico obtuvieron una media de 13,6%, por otro lado, las probetas sin tratamiento térmico obtuvieron 16,3% evidenciando que existe una reducción de su porcentaje de elongación al someterlo a una alteración térmica a 70°C.

Estos resultados responden a la disminución de la resistencia a la tracción ya que ambos resultados fueron obtenidos del mismo ensayo.

Influencia del tratamiento térmico en la tenacidad

El ensayo de impacto evidenció una diferencia marcada entre las condiciones. El grupo STT absorbió en promedio 5,93 J, mientras que las probetas CTT solo 4,84 J, lo que implica una reducción del 18 %. El análisis estadístico confirmó que esta diferencia es significativa ($p < 0,01$). Por otro lado, al calcular la tenacidad del material tanto para las probetas con y sin tratamiento térmico, se obtuvo los siguientes valores:

El resultado es coherente con el observado en tracción: el tratamiento térmico no solo disminuye la resistencia estática, sino también la capacidad de disipar energía bajo cargas súbitas. Este fenómeno puede estar asociado a una reducción en la adhesión entre fases de la microestructura ABS (estireno-acrilonitrilo y butadieno), favoreciendo la propagación de grietas ante impactos.

En la literatura, Huang et al. (2019) reportaron efectos similares, señalando que tratamientos sub-Tg reducen la resistencia al impacto debido a un endurecimiento local de las fases amorfas, que limita la movilidad molecular requerida para absorber energía.

- Sin tratamiento térmico: $\frac{5.93}{1 \times 10^{-4}} \cdot \frac{J}{m^2} = 59.3 \frac{J}{m^2}$
- Con tratamiento térmico: $\frac{4.84}{1 \times 10^{-4}} \cdot \frac{J}{m^2} = 48.4 \frac{J}{m^2}$

Análisis de los hallazgos encontrados

Una vez determinados los resultados se puede definir que el comportamiento del ABS durante un tiempo estimado de 20 min presenta:

- Disminución de la resistencia a la tracción en un 9%
- Disminución de la elongación en un 17%
- Disminución de la tenacidad en un 18%

Estos resultados se definieron en base a l análisis estadístico mediante t de Student el cual determino una p menor a 0,05 para todas propiedades analizadas.

Conclusiones

- Este estudio mostró que calentar el polímero ABS a 70 °C durante 20 minutos puede reducir notablemente sus propiedades mecánicas de tracción e impacto. Esto confirma que incluso exposiciones moderadas pueden afectar su rendimiento estructural de manera clara.
- Las pruebas de tracción revelaron que hay una baja en la resistencia máxima y en la elongación hasta el punto de rotura, lo que sugiere que el material se comporta de forma

más frágil después de estar expuesto al calor. Este resultado está ligado a procesos de relajación molecular y a una pérdida parcial de movilidad en las cadenas del polímero.

- En las pruebas de impacto Charpy, se notó que la energía absorbida disminuyó, lo que a su vez reduce la tenacidad normalizada. Esto refuerza la idea de que el ABS que fue tratado tiene menos capacidad para manejar cargas dinámicas.
- Los resultados de esta investigación confirman que incluso exposiciones térmicas moderadas, inferiores a la Tg del ABS, provocan alteraciones estructurales que impactan directamente en su comportamiento mecánico. Esta evidencia complementa lo señalado en estudios de degradación térmica de termoplásticos, que advierten sobre la pérdida de propiedades por procesos de relajación molecular y cambios en la adhesión entre fases (Rahman & Alam, 2020; Al-Salem, 2009). En consecuencia, los hallazgos aquí presentados deben ser considerados en aplicaciones industriales donde el ABS esté expuesto a ambientes cálidos o a calor residual de procesos de manufactura (Crawford & Throne, 2019).
- Además, el análisis estadístico que se realizó con la prueba t de Student confirmó que las diferencias entre las muestras sin tratamiento (STT) y con tratamiento (CTT) son significativas desde el punto de vista estadístico ($p < 0,05$), lo que fortalece la validez de los hallazgos.
- Los resultados obtenidos son una evidencia valiosa para aplicaciones industriales del ABS, subrayando la importancia de tener en cuenta los efectos de tratamientos o exposiciones térmicas subcríticas al diseñar y utilizar componentes hechos con este material.

Referencias

1. Strong, A. B. (2016). *Plastics: Materials and Processing*. Pearson.
2. Osswald, T. A., & Hernández-Ortiz, J. P. (2006). *Polymer Processing: Modeling and Simulation*. Hanser Publishers.
3. Mark, J. E. (2013). *Physical Properties of Polymers Handbook*. Springer.
4. Zhang, Y., Li, X., & Chen, W. (2018). Effect of thermal aging on mechanical properties of ABS polymer. *Journal of Applied Polymer Science*, 135(12), 46021.

5. Kim, S., & Park, J. (2020). Mechanical degradation of ABS under sub-Tg thermal exposure. *Polymer Degradation and Stability*, 175, 109110.
6. Huang, L., Zhou, Y., & Wu, Z. (2019). Influence of moderate thermal treatment on impact behavior of ABS. *Materials Today Communications*, 20, 100567.
7. Ashby, M. F., & Jones, D. R. H. (2012). *Engineering Materials 2: An Introduction to Microstructures and Processing*. Elsevier.
8. Callister, W. D., & Rethwisch, D. G. (2021). *Materials Science and Engineering: An Introduction*. Wiley.
9. Crawford, R. J., & Throne, J. L. (2019). *Rotational Molding of Plastics*. Elsevier.
10. Sperling, L. H. (2006). *Introduction to Physical Polymer Science*. Wiley.
11. Rodríguez-Pérez, M. Á. (2014). Mechanical properties of thermoplastics under thermal stress. *Polymer Testing*, 40, 1-9.
12. ASTM International. (2019). *ASTM D638-14: Standard Test Method for Tensile Properties of Plastics*. West Conshohocken, PA.
13. International Organization for Standardization (ISO). (2012). *ISO 527-2: Plastics — Determination of tensile properties*. Geneva.
14. International Organization for Standardization (ISO). (2010). *ISO 179: Plastics — Determination of Charpy impact properties*. Geneva.
15. Rahman, M., & Alam, S. (2020). Thermal stability of ABS and blends: A review. *Polymer-Plastics Technology and Materials*, 59(5), 495–508.
16. Zhang, H., & Liu, S. (2021). Mechanical properties of FDM-printed ABS under thermal post-treatment. *Additive Manufacturing*, 39, 101849.
17. Wu, S., & Chen, R. (2015). Effect of heat exposure on fracture behavior of engineering plastics. *Journal of Materials Research*, 30(9), 1287–1295.
18. Harper, C. A. (2002). *Handbook of Plastics, Elastomers, and Composites*. McGraw-Hill.
19. Al-Salem, S. M. (2009). Thermal and mechanical characterization of recycled ABS. *Polymer Testing*, 28(7), 739–745.
20. Ehrenstein, G. W. (2001). *Polymeric Materials: Structure, Properties, Applications*. Hanser Publishers.

© 2025 por los autores. Este artículo es de acceso abierto y distribuido según los términos y condiciones de la licencia Creative Commons Atribución-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional (CC BY-NC-SA 4.0) (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>).